

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00915

研究課題名(和文)半導体光触媒による水の4電子酸化反応：高効率な逐次物質変換のメカニズム

研究課題名(英文)Water Oxidation on Semiconductor Photocatalysts: How Completed under Dilute Photon Flux

研究代表者

大西 洋 (ONISHI, HIROSHI)

神戸大学・理学研究科・教授

研究者番号：20213803

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,500,000円

研究成果の概要(和文)：世界最高レベルの量子収率で水を完全分解する半導体光触媒は希薄な励起光フラックスのもとで水を酸素に変換する4電子酸化反応を完了する。この反応の中間体は光触媒表面に生成して自由な水に曝されるにもかかわらず失活することなく反応を完了するのはなぜか？この問いに答えるために、化学変化の中間状態(半導体中の電子励起状態)と最終生成物(水中に放出される溶存酸素)の生成消滅を水中でその場計測して、物質変換のメカニズムを速度論的に解析する手法を開発した。開発した手法を用いて高活性光触媒として知られるタンタル酸ナトリウムやチタン酸ストロンチウムを計測し、学術論文10報を上梓し39件の学会発表をおこなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水を電子源として用いる(すなわち水を酸化して酸素をつくる)ことができなければ人工光合成は実用技術となりにえない。人工光合成で水を還元して水素燃料を調達する、あるいは二酸化炭素を還元して炭素源として再利用する、いずれの場合も還元反応と当量の酸化反応が必要であり酸化反応に利用できる資源は水しかない。幸いなことに、紫外光照射によって高収率で水から酸素をつくる半導体光触媒を日本の研究者たちが次々に開発してきた。それらの光触媒はどうやって水から酸素をつくっているのか？この問いの答えることによって光触媒開発の学術的基盤を構築することが本研究の意義である。

研究成果の概要(英文)：Researchers in Japan have developed semiconductor photocatalysts highly efficient for the overall water splitting reaction to produce H₂ and O₂. Why are they active? This is the fundamental question that drives this three-year research project. We developed two methods for characterization of photocatalysts working under water. Time-resolved detection of O₂ released into water was achieved with platinum microelectrode. Infrared light absorption of photocatalyst particles irradiated with ultraviolet light for excitation was monitored on a diamond prism. The developed methods were successfully applied to NaTaO₃ and SrTiO₃ photocatalysts.

研究分野：界面分子科学

キーワード：反応速度論 オペランド計測 電子励起状態 ペロブスカイト構造 多電子反応 マイクロ電極 赤外吸収分光 エックス線吸収分光

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

水を電子源として用いる（すなわち水を酸化して酸素または過酸化水素を生成する）ことができなければ人工光合成は実用技術となりえない。水を還元して水素燃料を調達する、あるいはCO₂を還元して炭素源として再利用する、いずれの場合も還元反応と当量の酸化反応（図1）が物質変換に必要であり、酸化反応に利用できる資源は水しかない。天然光合成に倣って還元反応と酸化反応を別々の光触媒に担わせるZスキームを構築する場合でも、水を電子源とする事情は変わらない。

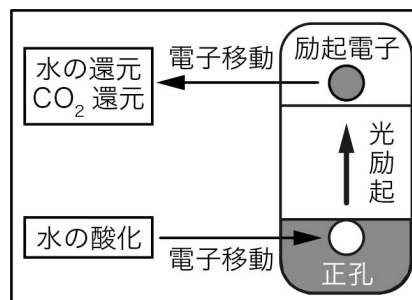


図1. 半導体光触媒による実用的な人工光合成

幸いなことに、純粋な水を4電子酸化して酸素を生成する半導体光触媒を日本の研究者たちが次々に開発してきた。紫外光照射下のみかけ量子効率（=酸素生成に利用された正孔数 / 反応容器に入射した光子数）は50%を超える。紫外LED光による反応で酸水素混合気泡の連続発生を目視確認できるほどの効率である。この高効率を維持しつつ太陽光励起を可能にする材料開発が現在世界中で進められている。しかし開発の指針となるべき金属酸化物半導体が水を酸化する界面反応の分子論的理解は十分でない。

2. 研究の目的

半導体光触媒が水を酸化する界面反応でとくに不思議なことは、希薄な励起光フラックスのもとで水を酸素に変換する4電子酸化を完了することである。光触媒微粒子を10 nm角として概算すると、微粒子1個あたり毎秒100個の入射光子で50%超の量子効率が実現している。これらの光触媒はどうやって水から酸素をつくっているのか？ この問いに答えることによって、さらなる光触媒開発に指針を提供することを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

(1) この問いに答える手段とするために、反応中間体と最終生成物（溶存酸素）を時間分解検出する計測評価手法を構築する。光触媒の実動環境である水中で動作するマイクロ電極・赤外吸収分光・電子スピン共鳴分光に太陽光に近い励起光フラックスを与える紫外LED光源を組みあわせて、励起光照射による化学変化の高感度かつ時間分解検出をめざした。

(2) 構築した手法を用いて、世界最高レベルの収率で水を酸化するタンタル酸ナトリウム (NaTaO₃) 光触媒とチタン酸ストロンチウム (SrTiO₃) 光触媒の反応過程を解析し、計測評価手法の有効性を実証するとともに、まったく異なる金属元素から構成される二つの光触媒の反応メカニズムから共通点と相違点を抽出して光触媒開発に指針を提供する。

4. 研究成果

(1) マイクロ電極を用いた酸素放出速度の時間分解測定 [Kosaka et al., *ACS Catal.* 10 (2020) 13159]: 高橋康史 (研究分担者) らが培ってきたマイクロ電極による水中化学分析を要素技術として活用し、人工光合成光触媒から発生した酸素を水に溶けたままの状態を検出した。

久富隆史・堂免一成ら（ともに研究協力者）から提供を受けたチタン酸ストロンチウム光触媒のパネルを水に沈め、直径 20 μm の白金線の側面をガラス被覆した電極を、光触媒パネルの表面から 100 μm まで近づけた（図 2）。LED が発する紫外光（波長 280 nm）を光触媒パネルに照射すると、水とパネルが接する界面で水が分解して酸素（O₂）と水素（H₂）が

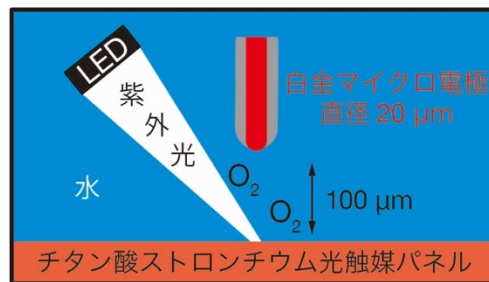


図 2. 光触媒反応で水中へ放出される酸素の高速検出

水中に放出され、放出された酸素は水中を拡散して検出電極に到達しする。電極に到達した酸素は、電極から 4 個の電子（e⁻）を受け取って $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ のように還元される。還元反応にともなって電極に流れる電流を 0.1 秒毎に測ることで、電極に到達する酸素の絶対量を 0.1 秒毎に定量できた。これまでおこなわれてきたガスクロマトグラフを使った酸素検出では、どんなに急いでも 3 分毎の測定しかできなかったので、1,000 倍以上の高速化を達成したことになる。

100 μm 下方の光触媒パネルからマイクロ電極まで酸素が水中を拡散するために必要な時間を求めることは難しくない。フィックの拡散法則をもとにした有限要素シミュレーションをおこなって、マイクロ電極で測定した電流の時間変化と比較することで、光触媒パネルに紫外光を照射してから酸素が水中に放出されるまでに 1-2 秒のおくれがあることがわかった。ガスクロマトグラフによる酸素検出では決して知ることのできない新しい現象を観測することができた。

このような「おくれ」が生じた原因は、光があたることによって光触媒自身が活性化されることにあると考えている。この仮説の検証と、光があたる前と後で光触媒の何が変わったのかの検討は今後の課題であるが、従来より 1,000 倍高速な酸素検出によって、人工光合成反応の新しい姿が見えてきたと確信している。

(2) **ダイヤモンドプリズムを用いた赤外吸収スペクトルの水中計測** [Fu and Onishi, *J. Phys. Chem. C* 125 (2021) 26398] : 大西洋（研究代表者）らは半導体光触媒の電子励起状態（主に励起電子）が赤外光を吸収することを TiO₂ や NaTaO₃ などで見出し、赤外吸光度をもとに励起状態の存在量と再結合失活速度を計測してきた。これまでもっばら真空中または気体中で透過吸収を測定してきた。本研究では、ダイヤモンド製プリズムを利用して人工光合成反応の実働環境である水中での計測評価を可能にした。

図 3 に示すように、光触媒励起に必要な紫外光と吸収スペクトル測定に必要な赤外光をプリズム下面から同時に入射することで水中での測定が可能になった。ストロンチウム（Sr²⁺）カチオンをドーピングした NaTaO₃ 光触媒微粒子を紫外光（波長 280 nm）で励起しながら水中測定した赤外吸収スペクトルには、波数 3,000–1,000 cm⁻¹ に幅広い吸収バンドが現れた。同じ光触媒を真空中で紫外光照射して測定したスペクトルとは明らかに形状が異なっていたことから、微粒子内部に存在する励起電子と、微粒子表面に局在する励起電子を区別して観測できることがわかった。これまで「励起電子」として一括され、もっばら量の多寡が議論されてきた励起状態の解析な考察が可能になった。

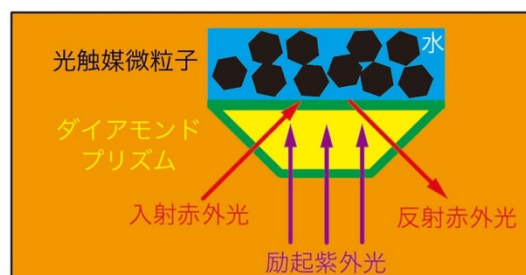


図 3. ダイヤモンドプリズムを用いた赤外吸収スペクトルの水中測定

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Kosaka Takumu, Teduka Yuya, Ogura Takuya, Zhou Yuanshu, Hisatomi Takashi, Nishiyama Hiroshi, Domen Kazunari, Takahashi Yasufumi, Onishi Hiroshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Transient Kinetics of O ₂ Evolution in Photocatalytic Water-Splitting Reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 13159 ~ 13164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.0c04115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 531
2. 論文標題 Visible light responsive La and Fe co-doped NaTaO ₃ photocatalysts: Local structure around dopants	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 110648 ~ 110648
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemphys.2019.110648	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Kitta Mitsunori, Ito Ryota, Nagai Sota, Yoshida Tomoko, Katoh Ryuzi, Ohtani Bunsho, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 124
2. 論文標題 Water-Splitting Activity of La-Doped NaTaO ₃ Photocatalysts Sensitive to Spatial Distribution of Dopants	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 15285 ~ 15294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c03822	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Fadlallah Mohamed M., Tao Shuxia, Kitta Mitsunori, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 22
2. 論文標題 Dopant site in indium-doped SrTiO ₃ photocatalysts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 19178 ~ 19187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cp02822c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fu Zhebin, Hirai Takuya, Onishi Hiroshi	4. 巻 125
2. 論文標題 Long-Life Electrons in Metal-Doped Alkali-Metal Tantalate Photocatalysts Excited under Water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 26398 ~ 26405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c06618	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kosaka Takumu, Ando Tomohiro, Hisatomi Takashi, Nishiyama Hiroshi, Zhou Yuanshu, Domen Kazunari, Takahashi Yasufumi, Onishi Hiroshi	4. 巻 23
2. 論文標題 Microelectrode-based transient amperometry of O ₂ adsorption and desorption on a SrTiO ₃ photocatalyst excited under water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 19386 ~ 19393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP03264J	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Kitta Mitsunori, Katoh Ryuzi, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 125
2. 論文標題 Dependence of Photoexcited Electron Behavior on Octahedral Distortion in Barium-Doped NaTaO ₃ Photocatalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 16403 ~ 16412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c03334	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kitta Mitsunori, Taguchi Noboru, Sudrajat Hanggara, Onishi Hiroshi	4. 巻 118
2. 論文標題 Direct confirmation of the dopant site in indium-doped SrTiO ₃ photocatalyst via atomic-scale analytical transmission electron microscopy imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 153901 ~ 153901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0047290	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Kitta Mitsunori, Ito Ryota, Yoshida Tomoko, Katoh Ryuzi, Ohtani Bunsho, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 23
2. 論文標題 The role of the shell in core-shell-structured La-doped NaTaO ₃ photocatalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 8868 ~ 8879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP00375E	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 大西洋	4. 巻 63
2. 論文標題 タンタル酸アルカリ光触媒: 金属カチオンドーピングによる量子収率向上メカニズム	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 108-114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計39件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 平井琢也; 婦木正明; 長友敬晃; 付哲斌; 小堀康博; 大西洋
2. 発表標題 NiO助触媒を担持したタンタル酸ナトリウム光触媒の電子スピン共鳴による計測評価
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橘田晃宜; 田口昇; Sudrajat, H.; 大西洋
2. 発表標題 原子分解能STEM-EDSマッピングによるSrTiO ₃ 格子内のインジウムドーパントサイトの直接観察
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosaka, T.; Teduka, Y.; Ogura, T.; Zhou, Y.; Takahashi, Y.; Hisatomi, T.; Nishiyama, H.; Domen, K.; Onishi, H.
2. 発表標題 Scanning Electrochemical Microscopy for Time-Resolved Product Detection at Liquid-Solid Interfaces
3. 学会等名 28th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM28) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 金属カチオンドーピングによるタンタル酸ナトリウム光触媒の収率向上メカニズム
3. 学会等名 大阪市立大学人工光合成研究拠点共同利用・共同研究成果報告会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高坂拓夢; 手塚裕也; 小椋拓也; 周縁殊; 高橋康史; 久富隆史; 西山洋; 堂免一成; 大西洋
2. 発表標題 SrTiO ₃ 光触媒による酸素生成反応: 走査型電気化学顕微鏡による時間分解計測
3. 学会等名 第39回光がかかわる触媒化学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Onishi, H.
2. 発表標題 Semiconductor Photocatalysts for Artificial Photosynthesis
3. 学会等名 International Lecture Series: Chemical Innovation for Sustainable Future, Universitas Jember (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戴娜敏; Sudrajat, H.; 一國伸之; 大西洋
2. 発表標題 金属ドーブチタン酸ストロンチウム光触媒のXAFS解析
3. 学会等名 第125回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kosaka, T.; Teduka, Y.; Ogura, T.; Zhou, Y.; Takahashi, Y.; Hisatomi, T.; Nishiyama, H.; Domen, K.; Onishi, H.
2. 発表標題 Time-Resolved Detection of Water Splitting Reaction Products by Scanning Electrochemical Microscopy
3. 学会等名 27th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM27) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 金属ドーピング光触媒の局所構造解析
3. 学会等名 「サステナブル社会のための最先端触媒化学・表面科学」講演会～岩澤先生御受勲記念講演会～(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujiwara, T.; Sasahara, A.; Kimura, K.; Sudrajat, H.; Happo, N.; Hayashi, K.; Onishi, H.
2. 発表標題 Three-Dimensional Analysis of Ca Dopant Atoms in a KTaO ₃ (100) Wafer
3. 学会等名 14th International Conference on the Structure of Non-Crystalline Materials (NMC-14) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Onishi, H.
2. 発表標題 Sodium Tantalate Photocatalysts Doped with Metal Cations: Why So Active for Water Splitting?
3. 学会等名 15th Nanoscience and Nanotechnology Conference (NanoTR-15) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金野莉央; 丸山伸伍; 大西洋; 松本祐司
2. 発表標題 PLD法を用いた傾斜組成SrドーブNaTaO ₃ 薄膜の作製
3. 学会等名 2019年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 有限の厚さをもつ界面の分子科学
3. 学会等名 2019年日本表面真空学会学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 NaTaO ₃ 光触媒による水全分解反応: どうしてそんなに活性が高いのか
3. 学会等名 信州大学講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Konno, R.; Maruyama, S.; Sato, T.; Kosaka, T.; Onishi, H.; Matsumoto, Y.
2. 発表標題 Artificially Designed Compositionally-Grade Sr-Doped NaTaO ₃ Thin Films
3. 学会等名 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高坂拓夢; 手塚裕也; 小椋拓也; 周縁殊; 高橋康史; 久富隆史; 西山洋; 堂免一成; 大西洋
2. 発表標題 走査型電気化学顕微鏡による水全分解反応生成物の時間分解検出
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 一國伸之; Sudrajat, H.; 周以重; 佐々木拓朗; 大西洋
2. 発表標題 LaとCrをダブルドーブしたNaTaO ₃ 光触媒のXAFSによる構造解析
3. 学会等名 第22回XAFS討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 NaTaO ₃ 光触媒による人工光合成：どうしてそんなに活性が高いのか
3. 学会等名 界面分子変換研究会ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西洋; 高坂拓夢; 高橋康史; 久富隆史; 堂免一成
2. 発表標題 水の完全分解で生成する溶存酸素のマイクロ電極による時間分解検出
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平井琢也; 長坂将成; 一國伸之; 大西洋
2. 発表標題 タンタル酸ナトリウム光触媒の軟X線吸収分光:紫外光励起による酸素K吸収端の変化
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橘田晃宜; 大西洋
2. 発表標題 タンタル酸カリウム単結晶基板上でのタンタル酸ナトリウムの配向成長
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 半導体光触媒による水の全分解反応:マイクロ電極による生成酸素の時間分解検出
3. 学会等名 電気化学会第89回大会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Onishi, H.
2. 発表標題 An ATR-IR Scheme for Operando Characterization of Semiconductor Photocatalysts
3. 学会等名 International Iwasawa Conference 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 半導体光触媒のオペランド計測:赤外分光とマイクロ電気化学
3. 学会等名 触媒学会西日本支部キャラクタリゼーション講習会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kosaka, T.; Teduka, Y.; Ogura, T.; Zhou, Y.; Takahashi, Y.; Hisatomi, T.; Nishiyama, H.; Domen, K.; Onishi, H.
2. 発表標題 Time-Resolved Detection of Oxygen Released in Overall Water Splitting Reaction over SrTiO ₃ Photocatalysts
3. 学会等名 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2020 (Pacifichem2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosaka, T.; Ando, T.; Takahashi, Y.; Hisatomi, T.; Nishiyama, H.; Domen, K.; Onishi, H.
2. 発表標題 Scanning Electrochemical Microscopy for Operand Detection of O ₂ Released on a SrTiO ₃ Photocatalyst Excited under Water
3. 学会等名 29th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM29) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosaka, T.; Zhou, Y.; Hisatomi, T.; Nishiyama, H.; Domen, K.; Takahashi, Y.; Onishi, H.
2. 発表標題 Microelectrode-Based Transient Amperometry of O ₂ Evolution on a SrTiO ₃ Photocatalyst Excited under Water
3. 学会等名 International Symposium on Surface Science (ISSS-9) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 付哲斌; 平井琢也; 大西洋
2. 発表標題 全反射赤外分光で観測した水中タンタル酸アルカリ光触媒の長寿命電子励起状態
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Onishi, H.
2. 発表標題 Metal Cation Doping to Perovskite-Structured Compounds for Artificial Photosynthesis
3. 学会等名 1st Japan-China Symposium on Catalysis (1stJCSC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 チタン酸ストロンチウム光触媒による水分解反応: マイクロ電極を用いた溶存酸素濃度変化の時間分解計測
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

人工光合成光触媒がつくりだす酸素を高速検出（神戸大学Research at Kobe）
https://www.kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/news/2020_11_04_01.html

神戸大学理学研究科化学専攻 大西研究室（日本語ページ）
<http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index.html>
神戸大学理学研究科化学専攻 大西研究室（英語ページ）
<http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-E.html>
神戸大学理学研究科化学専攻 大西研究室（インドネシア語ページ）
<http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-I.html>
神戸大学理学研究科化学専攻 大西研究室（韓国語ページ）
<https://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-K.html>
神戸大学理学研究科化学専攻 大西研究室（タイ語ページ）
<http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-T.html>
神戸大学理学研究科化学専攻 大西研究室（中国語ページ）
<http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-C.html>
神戸大学理学研究科化学専攻 大西研究室（ネパール語ページ）
<http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-N.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	高橋 康史 (Takahashi Yasufumi) (90624841)	金沢大学・ナノ生命科学研究所・教授 (13301)	
研究 分 担 者	小堀 康博 (Kobori Yasuhiro) (00282038)	神戸大学・分子フォトサイエンス研究センター・教授 (14501)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協 力 者	スドラジャト ハンガラ (Sudrajat Hanggara)		
研究 協 力 者	バクス エレン (Backus Ellen)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	ヴェル クリストフ (Woell Christof)		
研究協力者	一國 伸之 (Ichikuni Nobuyuki)		
研究協力者	吉田 朋子 (Yoshida Tomoko)		
研究協力者	長坂 将成 (Nagasaka Masanari)		
研究協力者	岩山 洋士 (Iwayama Hiroshi)		
研究協力者	橘田 晃宜 (Kitta Mitsunori)		
研究協力者	久富 隆史 (Hisatomi Takashi)		
研究協力者	堂免 一成 (Domen Kazunari)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	戴 娜敏 (Dai Namin)		
研究協力者	高坂 拓夢 (Kosaka Takumu)		
研究協力者	小椋 拓哉 (Ogura Takuya)		
研究協力者	手塚 裕也 (Teduka Yuya)		
研究協力者	平井 拓也 (Hirai Takuya)		
研究協力者	細川 大地 (Hosokawa Daichi)		
研究協力者	松井 恭平 (Matsui Kyohei)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
インドネシア	Universitas Jember	National Research and Innovation Agency		
ドイツ	Karlsruhe Institute of Technology			
オランダ	Eindhoven University of Technology			
エジプト	Benha University			
オーストリア	University of Vienna			